



Tiago Miguel
da
Costa Luna

Estudo da dispersão de poluentes,
aplicado a um parque de energia das
ondas



Tiago Miguel
da
Costa Luna

Estudo da dispersão de poluentes, aplicado a um parque de energia das ondas

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia e Oceanografia Física, realizada sobre a orientação científica do Professor Doutor Jesus Dubert e do Doutor Martinho Marta Almeida da Universidade de Aveiro.

o júri / the jury

Prof. Doutor Alfredo Moreira Caseiro Rocha

Professor Associado com Agregação da Universidade de Aveiro (Director de Curso)

Prof. Doutor Jesus Manuel Pedreira Dubert

Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (Orientador)

Doutor Martinho Marta Almeida

Investigador Auxiliar da Universidade de Aveiro (co-orientador)

Doutor Rui Miguel Andrade Caldeira

Investigador Auxiliar do Laboratório associado CIMAR

agradecimentos / acknowledgements

Gostaria de agradecer ao Prof. Doutor Jesus Dubert, Doutora Rita Nolasco e Doutor Martinho Almeida, pelo seu constante apoio ao longo deste trabalho face às dificuldades com que tive de lidar. As sugestões e orientações foram importantes no meu trabalho.

Gostaria de dedicar este trabalho aos meus pais José Luna e Joaquina Luna, à minha irmã Sandra Luna, meu cunhado Sérgio Santos e à minha namorada La Salete Leite, já que este trabalho sem o vosso apoio e compreensão não teria sido possível.

Aos meus colegas da Martifer Energy Systems, pela ajuda e sugestões com as quais beneficieei e permitiram melhorar este trabalho.

palavras-chave

Modelação numérica oceânica, ROMS AGRIF, flutuadores Lagrangeanos, instabilidade baroclínica

Resumo

Este trabalho resultou da minha colaboração na *Martifer Energy Systems* no âmbito do projecto FLOW. Ao longo deste projecto foi necessário a compreensão da dinâmica da região de instalação de um dispositivo para extracção da energia das ondas, com especial importância para o regime de correntes. Para tal foi implementado o modelo numérico oceanográfico *ROMS AGRIF* e que foi utilizado para o estudo de diversos parâmetros, como temperatura e a salinidade. Um estudo de movimento de flutuadores lagrangeanos foi efectuado com vista à estimação de um cenário extremo em caso de falha no sistema de amarração do dispositivo ou fuga de fluidos hidráulicos e que permitam analisar um padrão no seu deslocamento face à presença de condições meteorológicas semelhantes.

keywords

Ocean numerical Modeling, ROMS AGRIF, Lagrangean floats, baroclinic instability

Abstract

This work resulted in my collaboration in the FLOW project at *Martifer Energy Systems*. During the development of this project it was necessary to understand the dynamics of the installation region of a device for extracting energy from ocean waves, with particular relevance to the current regime. It has installed the oceanographic numerical model *ROMS AGRIF* and was used to study various parameters such as temperature and salinity. A motions study of lagrangean floats was made in case of failure of the mooring system of the device, leakage of hydraulic fluid and for analyzing a pattern in its movement against the presence of adverse weather conditions.

Conteúdo

1	Introdução e Objectivos	1
1.1	Objectivos do Trabalho	2
1.2	Área em Estudo	3
1.3	Dinâmica da Região	4
1.3.1	Corrente para o pólo	5
1.3.2	Correntes forçadas pelo Vento sobre a plataforma continental	5
1.3.3	Afloramento Costeiro	6
1.4	O modelo ROMS AGRIF	6
1.4.1	Modelo Lagrangeano	7
2	Dados e Metodologia	9
3	Resultados	17
3.1	Episódio de 18 de Fevereiro de 2001	17
3.2	Episódio de 6 de Março de 2001	21
3.3	Estudo Lagrangeano dos Flutuadores	24
4	Conclusão	29

Lista de Figuras

1.1	Área em Estudo e sua Batimetria	3
1.2	Zona Piloto	4
2.1	Historia Sinóptica	10
2.2	Reanálise do Vento ao longo da Simulação para o ponto 40.9°N 9.37°W . .	11
2.3	Caudal do Rio douro registado na Barragem de Crestuma-Lever	12
2.4	Área em Estudo	13
2.5	Sub-Aéreas	15
3.1	Secção Vertical estudada	18
3.2	Temperatura à superfície do oceano 12z 18/02/2001 [°C]	19
3.3	Salinidade à superfície do oceano 12z 18/02/2001 Entre-os-Rios	20
3.4	Perfil vertical da corrente meridional 12z 18/02/2001 [m/s]	20
3.5	Perfil vertical da corrente zonal 12z 18/02/2001 [m/s]	21
3.6	Temperatura à superfície do oceano 12z 06/03/2001 [°C]	22
3.7	Salinidade à superfície do oceano 12z 06/03/2001 [°C]	22
3.8	Perfil vertical da corrente meridional 12z 06/03/2001 [m/s]	23
3.9	Perfil vertical da corrente zonal 12z 06/03/2001 [m/s]	24
3.10	Localização dos pontos em que os flutuadores foram lançados e a batimetria da região. As linhas batimétricas apresentadas correspondem às profundidades de 20, 30, 40, 50, 100, 200, 500 e 1000 metros.	25
3.11	Totalidade dos flutuadores presentes na área em estudo entre 28 de Fevereiro a 11 de Abril de 2001. Os flutuadores azuis correspondem aos lançados à superfície, vermelhos a meia água e preto aos do fundo	26
3.12	Registo Temporal do Vento ao longo da Simulação	27

Lista de Tabelas

1.1 Limites da Zona Piloto	4
--------------------------------------	---

Capítulo 1

Introdução e Objectivos

O estudo da dinâmica do oceano é de grande importância quando se desenham estruturas para serem instaladas neste meio. Sejam embarcações ou estruturas fixas como o caso das plataformas petrolíferas, é necessário um conhecimento das condições meteorológicas e oceanográficas que se deverão enfrentar em regime de operacionalidade; isto é, um conjunto de condições que ocorrem dentro de um intervalo em torno da climatologia local previamente determinada e na qual o dispositivo funcionará no seu regime normal de funcionamento. Outra situação de extrema importância prende-se com o regime de sobrevivência, em que o correcto dimensionamento e contabilização dos factores de segurança são colocados à prova, em condições que são longe de serem as ideias de funcionamento como é o caso da ocorrência de tempestades. Neste ultimo caso, é importante prevenir possíveis situações de risco por forma a que as consequências sejam minoradas, criado para tal um plano de contenção, com a identificação do risco e uma série de procedimentos e medidas a adoptar em caso de acidente. Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do meu trabalho inserido num grupo de investigação e desenvolvimento de uma tecnologia com capacidade para a produção de energia eléctrica, tendo por base o movimento oscilatório relativo da superfície livre do oceano. Este tipo de tecnologias também conhecidos por WEC ¹ têm ganho um particular interesse por parte de governos e empresas interessadas no investimento de energias de fontes renováveis, como alternativa à actual dependência do petróleo. Havendo no entanto tecnologias capazes de produzir energia de fontes renováveis como o vento, situação actualmente vulgarizada, a dificuldade destes dispositivos (ex. energia eólica) em serem capazes de produzir energia eléctrica de forma continua com elevada predictabilidade tem levado grupos de investigadores como o nosso a olharem para outras fontes de energia inesgotável, com maior predictabilidade como o oceano. Não se pretende com isto se afirmar que o oceano seja melhor compreendido que a atmosfera para a qual existem um maior número de registos, no entanto os fenómenos que ocorrem nos respectivos meios possuem escalas temporais e espaciais distintas, o que no caso do oceano é uma vantagem significativa. No entanto sendo o oceano um meio agressivo para as estruturas e também altamente energético, tem dificultado um maior avanço de tecnologias

¹Wave Energy Converters

neste campo, já que poucas têm conhecimentos do comportamento dos seus equipamentos numa escala real em condições não controladas. Este trabalho pretende no âmbito do projecto Flow da *Martifer Energy Systems*, contribuir para um melhor conhecimento do meio de implementação natural deste tipo de tecnologias para a região em estudo.

Estes tipo de estudo são bastantes frequentes em casos de derramamentos de petróleo em quantidades que se justifiquem e que possam ser um problemas para a vida marinha, zonas costeiras e à navegação. Situações como estas ocorrem ainda com alguma frequência com consequências sempre nefastas, como foi o caso do derramamento de crude do petrolífero Exxon Valdez no Alasca e que actualmente permanece na historia como um dos maiores derramamentos de crude na historia ou bem mais recentemente na costa ocidental da Galiza, o derramamento de crude do petroleiro Prestige no decorrer do ano de 2002.

1.1 Objectivos do Trabalho

Este trabalho teve como objectivo no âmbito do meu trabalho no projecto *FLOW* da *MARTIFER ENERGY SYSTEMS*, a implementação de um modelo numérico oceanográfico capaz de efectuar a modelação de variáveis oceanográficas como temperatura, salinidade e a forma como estes campos influenciam o regime de correntes. Este trabalho permitiria contribuir com um maior conhecimento da dinâmica da região em estudo, situada na costa ocidental Portuguesa através da modelação de um período caracterizado por reunir uma série de condições meteorológicas adversas como foi observado pelo regime de ventos e também pela elevada pluviosidade. Este período de simulação teve compreendido entre os meses de Janeiro a Abril de 2001, ano para o qual se observaram os maiores registos de pluviosidade em Portugal continental desde o inicio do presente século. Bastaria para relembrar as condições extremas verificas no período de simulação, de que decorreram no ano em que se deu o trágico acidente de Entre os Rios, onde o colapso de uma ponte sobre o rio Douro levou à morte de dezenas de pessoas. Este acidente viria a tornar-se amplamente divulgado pela comunicação social em Portugal, já que por diversas vezes as missões de salvamento dada as condições meteorológicas adversas e as fortes correntes observadas em consequência da elevada pluviosidade viriam a dificultar as missões de resgates da vitimas. Todas estas condições meteorológicas adversas como a pluviosidade, vento forte assim como as fortes correntes e caudais observados no rio Douro viriam a trazer consequências na dinâmica das regiões mais costeiras Deste modo o interesse pela modelação de flutuadores lagrangeanos, surge de forma natural com o intuito de estudar o comportamento de partículas presentes num fluido que se espera serem representativas do movimento que uma mancha de fluido hidráulico proveniente do dispositivo de extracção de energia das ondas, assim como a possível trajectória descrita pelo *WEC* em caso de ruptura do sistema de amarração. No âmbito deste trabalho pretende-se dar um primeiro passo na implementação do modelo ROMS AGRIF em modo operacionalidade com o objectivo de se efectuar a monitorização em contínuo das condições no local de instalação do *WEC* assim como efectuarem-se previsões dos campos anteriormente mencionados e aplicação de técnicas lagrangeanas na modelação de flutuadores baseadas nas previsões.. .

1.2 Área em Estudo

A costa Portuguesa tem servido recentemente como banco de ensaios de dispositivos para extracção de energia das ondas. Este facto deve-se aos incentivos efectuados pelo governo Português mas também aliado a um recurso energético médio anual da ondulação a rondar os 40 kW/m, o que torna se aliciente para a produção de energia eléctrica. Este estudo incide na costa ocidental portuguesa, numa região denominada por Zona Piloto, destinada a receber protótipos para a extracção de energia das ondas. Esta zona encontra-se localizada aproximadamente a 8 milhas náuticas a Oeste da Praia da Vieira a norte de São Pedro de MOEL e possui uma dimensão aproximada de 10 por 12 milhas náuticas. . A região em estudo neste trabalho incidiu sobre a costa ocidental portuguesa limitada a norte e a sul pelos paralelos 41 e 39 graus Norte, e na direcção este-oeste pelos meridianos 8.5 e 10 graus Oeste respectivamente. Deste modo pretende-se abranger uma área suficientemente grande em torno da região da zona piloto, que em caso de detecção de fugas de fluidos hidráulicos ou colapso do sistema de amarração do dispositivo de extracção de energia da ondulação, permita uma tomada de decisão para corrigir qualquer anomalia que possa surgir. Por este motivo a região em estudo revela-se mais extensa na direcção norte-sul do que este-oeste, já que o regime de correntes esperados são maioritariamente meridionais devido ao regime de ventos característicos da nossa costa. A região em estudo encontra-se representada na *Figura 1.1*

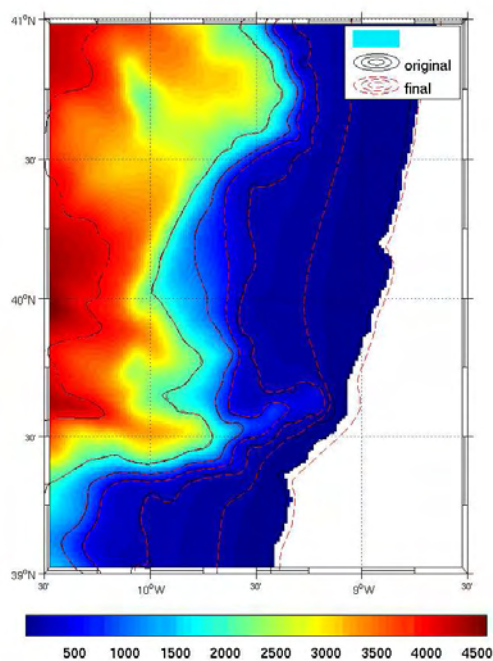


Figura 1.1: Área em Estudo e sua Batimetria

Os limites da zona piloto foram os pontos considerados para o lançamento dos flutua-

dores lagrangeanos a estudar neste trabalho. Deste modo pretende-se ter uma perspectiva de todos os cenários possíveis para as diferentes configurações de instalação dentro da zona piloto, percebendo-se assim dinâmica da região. Os pontos em questão encontram-se indicados na *Tabela 1.1*

Tabela 1.1: Limites da Zona Piloto

Vértices	Longitude W	Latitude N
A	-9° 0' 5.42"	39° 57' 30"
B	-9° 12' 0"	39° 57' 30"
C	-9° 12' 0"	39° 47' 30"
D	-9° 3' 53.20"	39° 47' 30"

Na *Figura 1.2* está representado o posicionamento da zona piloto na região em estudo.

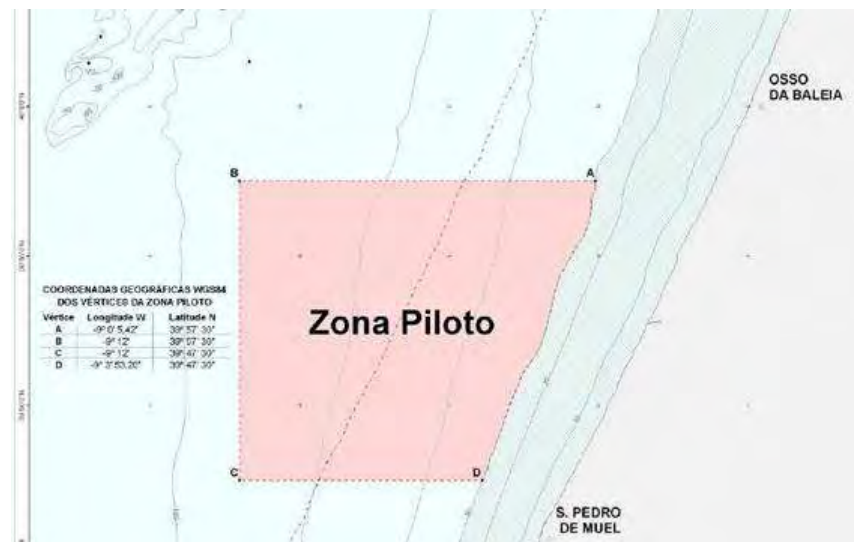


Figura 1.2: Zona Piloto

Refira-se que dado o posicionamento da Zona Piloto, a batimetria da região modelada sofre variações elevadas fruto da presença do Canhão da Nazaré, com profundidades reduzidas na ordem das dezenas de metros até às profundezas do canhão próximos já dos 4500 metros. O Canhão da Nazaré pelas suas características tem despertado interesse na modelação de sedimentos e sua dinâmica. A sua dinâmica embora de elevado interesse científico não se encontra abrangido no âmbito deste trabalho.

1.3 Dinâmica da Região

A dinâmica de inverno da região em estudo [Relvas et al 2007], localizada na costa este da Península Ibérica é resultante de diferentes mecanismos de forçamentos e de interações

com circulações oceânicas existentes em oceano aberto como a corrente dos Açores. Nesta secção será efectuada referência a aos mecanismos da região em estudo, a sua importância e consequências devido à proximidade da costa.

1.3.1 Corrente para o pólo

A corrente para o pólo observada ao longo da costa oeste da península Ibérica é caracterizada pelo transporte de água quente e salina com velocidades de correntes na ordem dos 0.2-0.3 m/s segundo Haynes e Barton (1990) e Frouin et al. (1990). Do ponto de vista hidrológico, esta corrente, revisada mais recentemente por Peliz et al. (2005), é caracterizada pela subsidência costeira do campo da salinidade até aproximadamente 40km ao largo da costa. Associado ao escoamento há uma descrição da existência de um máximo de salinidade com valores típicos na ordem dos 35.8-36 centrados por volta dos 100 metros de profundidade e que é usado frequentemente como traçador da presença do escoamento para o pólo. Este máximo de salinidade é normalmente próximo ao gradiente deste campo, no entanto também tem sido observado entre 36 a 55 Km de distância (Torres e Barton, 2006). Esta corrente para o pólo possui uma variabilidade sazonal elevada. Outra estimativa da corrente média associada a este escoamento é dada por Huthnance et al. 2002, e que faz referência a valores médios na ordem dos 0.1 m/s, baseado em observações efectuadas verticalmente por um período de 2 meses. Esta corrente é observada na região oeste da península Ibérica durante essencialmente os meses de inverno, tendo início por volta dos meses de Setembro-Outubro já no fim da época de afloramento costeiro originado pela nortada, e termina por volta dos meses de Abril-Maio, quando os ventos de norte voltam a marcar presença na costa oeste da península Ibérica. Durante este período de tempo em que a corrente para o pólo se faz sentir, os ventos são maioritariamente provenientes dos quadrantes de oeste e de sudoeste (Isemer e Hasse, 1987). Um dos mecanismos de forçamento da corrente para o pólo diz respeito à interação meridional dos gradientes de densidade. Em simultâneo com este grande gradiente meridional de salinidade, há ocorrência de outros em menor escala. Vitorino (1995), refere um exemplo desta secção frontal, separando as águas estratificadas a sul em torno dos 39,5 graus Norte, das águas homogêneas a norte desta latitude e a uma longitude de 12 graus Oeste, dando origem a correntes para a costa com velocidades entre os 0.05 a 0.1 m/s. A corrente para o pólo é rica em instabilidade e vortices.

1.3.2 Correntes forçadas pelo Vento sobre a plataforma continental

É sabido que o a circulação existente na plataforma continental da costa oeste da península Ibérica durante o inverno é dominada pela presença da corrente para o pólo. No entanto a corrente para o pólo não penetra na plataforma continental devido a um mecanismo de isolamento (Csanady e Shaw, 1983), exceptuando na ocorrência de episódios associados a instabilidade do lado da plataforma continental. Tendo isto em consideração, o mecanismo mais importante para o forçamento da circulação na plataforma continental é

a tensão do vento à superfície. Os ventos predominantes na costa oeste da península Ibérica durante os meses de inverno são de sudoeste (Isemer e Hasse, 1987) e a circulação atmosférica é dominada pelo movimento para este de sistemas sinóticos ciclónicos e sistemas frontais. No entanto em alguns anos a presença da circulação atmosférica anti-ciclónica devida à presença do anti-ciclone dos Açores pode influenciar estes regimes com ventos de norte durante os meses de inverno (Borges et al., 2003). Como referido por Vitorino et al (2002), poucos estudos são dedicados à circulação de inverno da plataforma.

1.3.3 Afloramento Costeiro

Os ventos predominantes do quadrante de norte observados na costa oeste da península Ibérica, dá origem a um transporte de Ekman para o largo tendo como consequência a ocorrência de afloramento costeiro de água fria junto à costa. Imagens de satélite da temperatura da superfície da água, são usadas com frequência e são usadas para descrever os padrões de afloramento que ocorrem na região, verificando-se o claro contraste térmico entre as águas frias costeiras provenientes do fundo e as águas mais quentes ao largo aquecidas pela incidência da radiação solar. Quando os ventos de norte são predominantes durante alguns dias, uma banda de água fria com uma largura relativamente constante é observada ao longo da costa e algumas perturbações de pequena escala (20 a 30 Km) são visíveis ao longo da frente térmica. Aproximadamente um mês após o início do afloramento, filamentos começam a desenvolver-se com correntes para o largo atingindo valores de 0.5 m/s, levando ao que se chama de um afloramento completamente desenvolvido, onde filamentos de água fria se estendem por mais de 200 km para o largo.

1.4 O modelo ROMS AGRIF

As simulações do oceano foram realizadas utilizando o Regional Oceanic Modelling System (ROMS) descrito por Shchepetkin e McWilliams (2003, 2005). O ROMS é um modelo 3D de coordenadas sigma, superfície livre, semi-explícito na resolução das equações primitivas do meio, considerando as aproximações de Boussinesq e hidrostática. A discretização das diferenças finitas pelo algoritmo são orientadas para a resolução de elevada ordem dos regimes oscilatórios, melhorando assim a resolução efectiva do modelo. Em particular, um esquema de terceira ordem é utilizado na resolução da advecção com difusividade lateral resolvida implicitamente, enquanto um novo algoritmo de gradiente de pressão garante baixos níveis de erros relacionados com o sistema de coordenadas. Um corrector de 3 ordem LeapFrog / Adams-Moulton é utilizado o que permite um aumento substancial do passo de tempo, bem como como boas características para a resolução de dispersão para a equação de advecção. As condições de fronteira abertas são para o modo baroclínico uma combinação de radiação adaptadas para o modo barotrópico Flather a um tipo de condição garantindo a resolução das marés (Marchesiello et al 2001). A viscosidade lateral explícita é nula em todos os lugares, excepto ao longo das camadas de esponjas perto de fronteiras abertas, onde os valores máximos de viscosidade horizontais são $Ah \text{ m}^2 / \text{s} =$

600. Processos de mistura vertical é parametrizada com o perfis K não-locais da camada limite (Grande et al. 1994) implementado tanto para as camadas limites da superfície e fundo. Os termos de difusão vertical são tratados com um algoritmo semi-implícito, esquema de Crank-Nicholson, para evitar restrições no passo tempo, devido a grandes taxas de mistura vertical nas camadas de fronteira e no interior, quando a estabilidade estática precisa de ser restaurada. O atrito do fundo é mantido constante durante todo o domínio com um valor de $1,0 \cdot 10^{-3}$.

1.4.1 Modelo Lagrangeano

Um submodelo de Lagrange apresentado por Capeto et al.(2004) é usado para simular os flutuadores o seu lançamento e dispersão. Os flutuadores usam um modelo 3D para os campos de velocidade de advecção com um esquema de quinta ordem com base na correcção do algoritmo elaborada por Adams-Bashforth/Adams-Moulton para o passo de tempo. O modelo AGRIF foi adaptado para gerir a comunicação através dos diferentes domínios do modelo LD e o domínio testado. A velocidade dos flutuadores são determinadas com base a expressão

$$u_f(x, y, z) = U_a(x, y, z) + u_r(x, y) + w_d(z) + w_r(z) \quad (1.1)$$

onde U_a é o vector velocidade 3D do modelo, u_r é um factor aleatório introduzido à velocidade horizontal através de :

$$u_r = \delta \cdot \sqrt{\frac{2K_h}{\delta t}} \quad (1.2)$$

onde δ é um número real compreendido entre -1 e 1, e K_h é a difusão horizontal lagrangeana na forma de

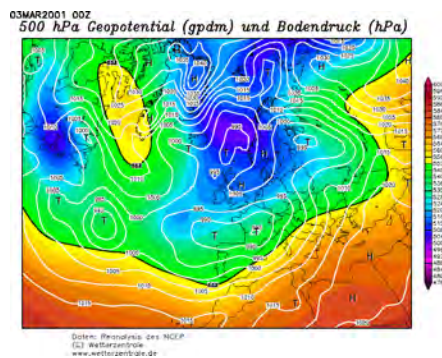
$$K_h = \epsilon^{\frac{1}{3}} \cdot l^{\frac{4}{3}} \quad (1.3)$$

onde l é a escala da subgrelha que poderá ser considerado como a dimensão da grelha e $\epsilon = 10^{-9} m^2/s^3$ é a taxa de dissipação turbulenta (e.g., Monin e Ozmidov, 1981).

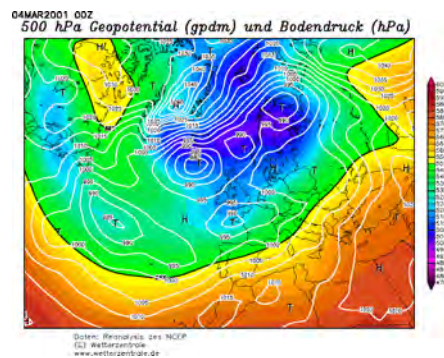
Capítulo 2

Dados e Metodologia

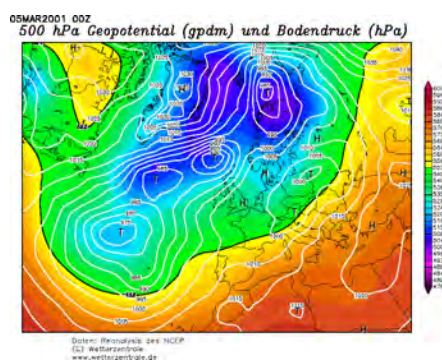
O período total de simulação deste trabalho teve início às 0 horas UTC do dia 10 de Janeiro e termina às 12 horas UTC do dia 11 de Abril de 2001. Este período foi seleccionado já que coincidiu com uma série de eventos meteorológicos adversos que incidiram sobre Portugal continental ao que veio revelar-se como o ano em que a pluviosidade foi mais elevada juntamente com a ocorrência de ventos fortes do corrente século. Este período extremo coincidiu pela altura do acidente de Entre-os-Rios. Para se perceber o que causou esta intensificação do vento apresenta-se na *Figura 2.1* a evolução sinóptica da região Euro-Atlântica desde o dia 3 ao dia 9 de Março. Nos mapas sinópticos apercebe-se da presença de diversas baixas pressões muito focalizadas no norte da Europa com valores de geopotencial baixos, e o anticiclone dos Açores bastante enfraquecido, dando lugar ao desenvolvimento de sistemas depressionários que se aproximam da Europa vindos de oeste. No dia 6 de Março, altura em que o vento foi bastante elevado, verifica-se a difluência pronunciada e o estreitamento das isobaras sobre Portugal continental situação concordante com o vento sentido na altura proveniente dos quadrantes sul.



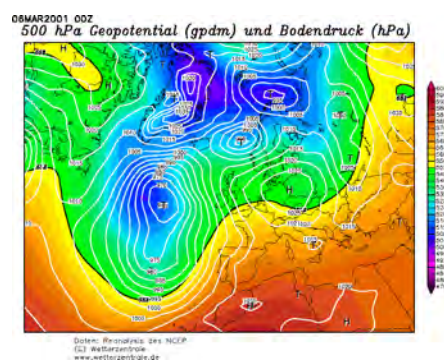
(a) Carta Sinóptica 03/03/09 00z



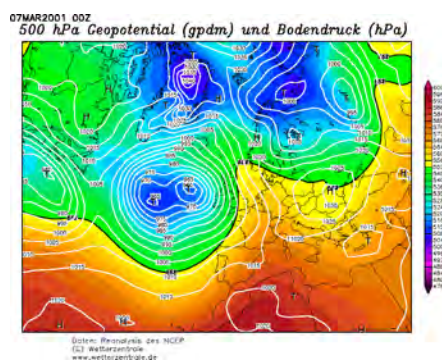
(b) Carta Sinóptica 04/03/09 00z



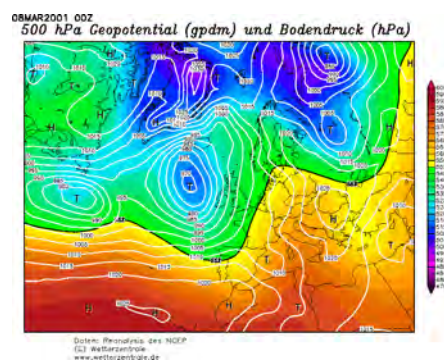
(c) Carta Sinóptica 05/03/09 00z



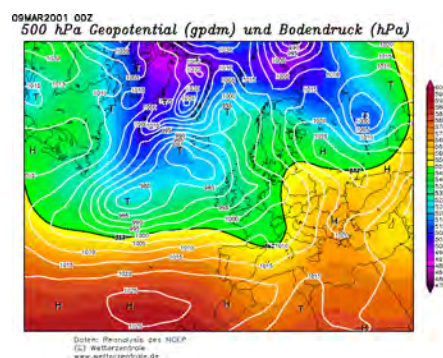
(d) Carta Sinóptica 06/03/09 00z



(e) Carta Sinóptica 07/03/09 00z



(f) Carta Sinóptica 08/03/09 00z



(g) Carta Sinóptica 09/03/09 00z

Na *Figura 2.2* encontra-se representado os ventos provenientes das reanálises do NCEP2 para o ponto 40.9°N 9.37°W . Na figura 2.2 a) encontra-se representado um diagrama de estacas, indicador da intensidade e direcção do vento ao longo do período de simulação, onde se identifica a grande variabilidade na direcção de incidência. Na figura 2.2 b) pode-se visualizar as componentes u (Norte-Sul) a negro e v (Este-Oeste) a vermelho do vento. Neste gráfico verifica-se de que a maior variabilidade nas intensidades dizem respeito à componente v do vento, situação já de esperar devido à passagem de sistemas de baixa pressões característica de Portugal Continental durante os períodos de Inverno. Verifica-se em torno no instante 260 (6 de Março de 2001) uma grande intensificação da componente v do vento, o que é visível na figura a) em que o mesmo instante se caracterizou pelo forte vento dos quadrantes Sul atingindo uma intensidade máxima (norma do vento representada na figura c)) a exceder os 25 m/s. Estes ventos fortes sentidos por volta desta altura coincidem com as más condições meteorológicas que se seguiram ao acidente de Entre os Rios. Considerando o âmbito deste trabalho na modelação de flutuadores lagrangeanos e com o objectivo de estudar a evolução do seu movimento, foram escolhidos dois períodos distintos para o estudo. Pretendeu-se identificar o comportamento dos flutuadores perante um episódio em que os ventos fossem provenientes de norte e outro de sul. Face ao comportamento do regime de vento ao longo do período de simulação, os períodos seleccionados para estudo do episódio do vento proveniente de sul corresponde ao período em que este obteve a sua intensidade mais elevada,

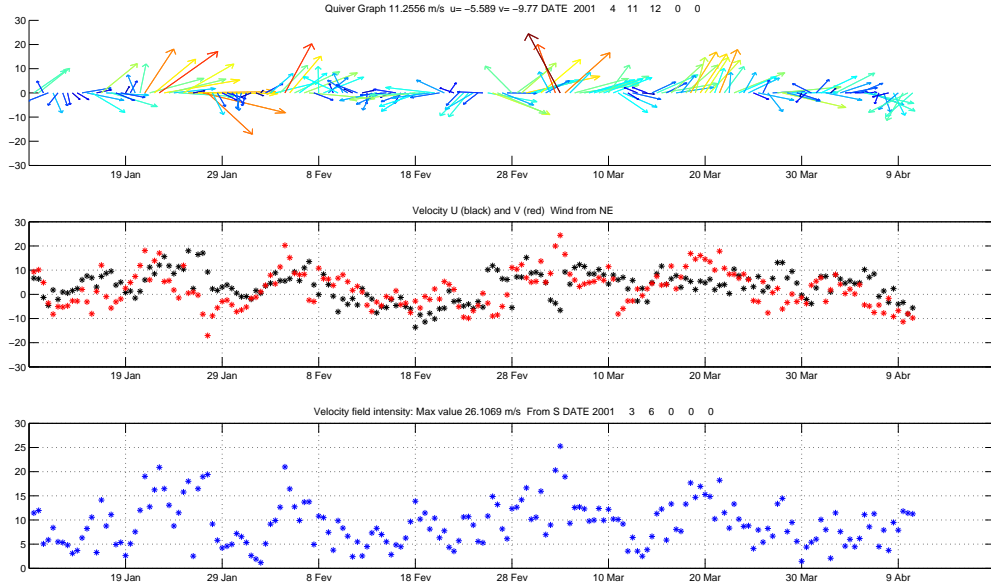


Figura 2.2: Reanálise do Vento ao longo da Simulação para o ponto 40.9°N 9.37°W

que como já foi referido ocorre em torno do dia 6 de Março. O mesmo raciocínio foi efectuado para a escolha de um período correspondente a um episódio em que a proveniência

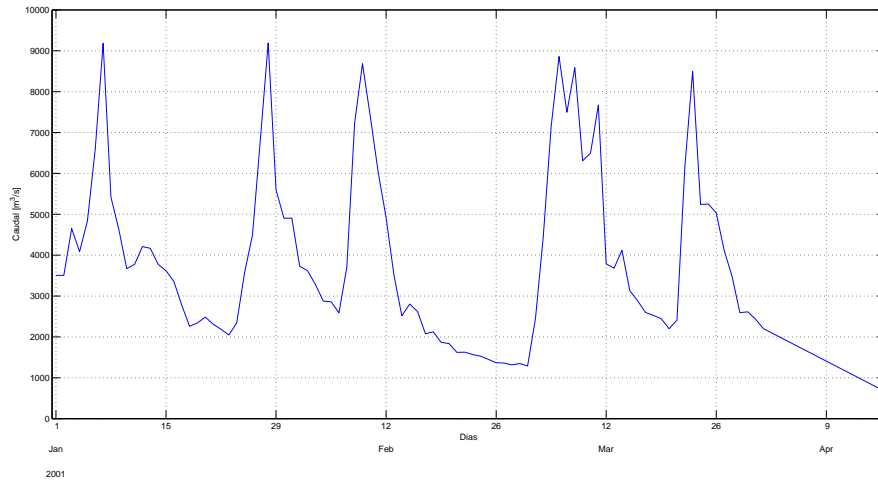


Figura 2.3: Caudal do Rio douro registado na Barragem de Crestuma-Lever

do vento fosse dos quadrantes norte, ao qual correspondeu ao período em torno do dia 18 de Fevereiro. A importância destes dias é ainda mais significativa se olharmos também para os registos de caudal do rio douro registados na barragem de Crestuma-Lever. Verifica-se que em torno do dia 6 de Março o aumento do regime de vento coincidiu a um aumento de caudal no rio douro, situação que se deve ao aumento da pluviosidade em Portugal continental.

Tendo em consideração a ausência de dados referentes aos campos de temperatura, salinidade e correntes, a utilização do modelo numérico ROMS AGRIF foi crucial para a modelação da dinâmica oceanográfica afecta a estes forçamentos. Uma vez instalado o modelo procedeu-se à criação de uma grelha para as simulações. Considerando a natureza deste trabalho, foi necessário utilizar uma resolução espacial refinada de apenas 1/81 graus com 60 níveis verticais e que possui-se uma dimensão superior à da região delimitada por zona piloto. Considerando as limitações computacionais deste trabalho a dimensão da grelha encontra-se confinada pelas latitudes 41 e 39 graus Norte e longitudes de 12.5 e 8.5 graus Oeste. Na *Figura 2.3* encontra-se representada a dimensão da malha utilizada e os seus limites.

Uma vez criada a grelha houve a necessidade da construção de uma mascara. A mascara na simulação assume uma grande importância já que descreve a fronteira da interface oceano-costa. Este ajuste da linha de costa teve que ser bastante suavizado para eliminar regiões acidentadas da linha de costa, onde um grande detalhe se tornaria impossível de modelar requerendo meios computacionais bastante elevados. Refira-se de que a região modelada não inclui a região de desaguar das águas do rio douro, no entanto a influência deste rio encontra-se presente nas condições fronteira provenientes de uma simulação para um domínio maior denominado LD¹ configurado pela Doutora Rita Nolasco e que se encontra operacional com previsões diárias de variáveis oceanográficas para a costa oeste da

¹Large Domain

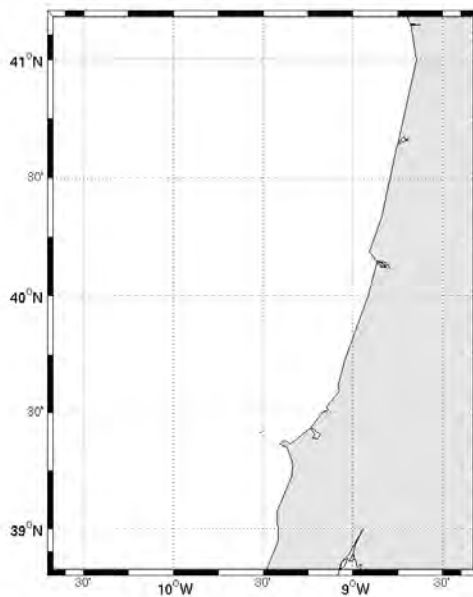


Figura 2.4: Área em Estudo

Península Ibérica ². Estando o domínio em estudo aninhado ao domínio LD, com condições fronteira extraídas do domínio maior a cada 12 horas, as fronteiras são controladas fortemente por este domínio (LD) e que introduz explicitamente o escoamento do douro visível na *figura 2.3*. Deste modo as condições iniciais oceanográficas dos campos de releve como a temperatura e salinidade, superfície livre, correntes zonais e meridionais foram obtidas pela simulação efectuada para o domínio LD. Por haver necessidade de adaptar os ficheiros das condições iniciais à nova configuração para o domínio menor foram utilizadas rotinas *MATLAB* fornecidas pela Doutora Rita Nolasco destinadas para o efeito e que fazem parte de uma toolbox denominada de ROMSTOOLS disponibilizadas na homepage³ do modelo numérico e que contem as rotinas utilizadas anteriormente para a construção da grelha e edição da mascara, assim como construção dos ficheiros para as contendo as condições iniciais. Refira-se no entanto de que as rotinas utilizadas diferem das disponibilizadas no site já que foram sendo modificadas pelo grupo de modelação oceânica da Universidade de Aveiro e adaptadas à nossa costa. Para se efectuar a simulação numérica foi também necessário obter ficheiros contendo informação sobre o forçamento do vento. Para o forçamento atmosférico, foram utilizadas duas bases de dados distintas, as reanálises do NCEP2 ⁴ e os dados de vento provenientes do sensor QuikSCAT a bordo de um satélite pertença da Agência Espacial Japonesa e que se encontra em órbita desde 1999. Este sensor no

²<http://neptuno.fis.ua.pt/main/home.php>

³<http://roms.mpl.ird.fr/>

⁴National Centers for Environmental Prediction

entanto encontra-se actualmente inoperacional após uma avaria ocorrida no dia 24 de Novembro de 2009, tendo-se mantido operacional por um período de 10 anos contribuindo para o aumento do conhecimento do regime de ventos sobre o oceano. As reanálises do NCEP2 foram utilizadas, pois constituem uma grande fonte de informação relativamente à evolução temporal do regime de ventos à superfície. No entanto esta base de dados é pobre em resolução espacial ($2,5^\circ$), o que se traduz em pontos da malha distanciados significativamente. Uma forma de corrigir a fraca resolução espacial, recorreu-se às medições do vento por satélite através do sensor QuikSCAT, que tem como inconveniente a resolução temporal sobre uma dada região, devido ao movimento de órbita-polar do satélite. Ao se utilizarem dois ficheiros de entrada no modelo numérico para o forçamento atmosférico, os dados provenientes do NCEP2 foram utilizados como ficheiro *bulk* e os ficheiros QuikSCAT como *forcing*. Cada ficheiro vai ter um papel importante no forçamento atmosférico, já que o modelo efectuará o forçamento atmosférico do vento por base a informação contida no ficheiro de entrada proveniente de medições de satélite, por possuir uma superior resolução espacial e a informação referente às trocas radiativas de calor latente e sensível pelo ficheiro de entrada contendo informação referente às reanálises, por possuir uma melhor resolução temporal.. Uma vez efectuada a simulação para o período em estudo, procedeu-se ao estudo do comportamento dos flutuadores lagrangeanos. Estes foram simulados para 3 níveis de profundidade distintos, superfície, meia água e fundo. Os pontos de lançamento dos flutuadores ocorreram para os 4 pontos extremos da região da zona piloto com um espaçamento temporal de uma hora. Para a quantificação dos seus movimentos, a região em estudo foi dividida em 9 regiões, permitindo verificar as regiões com maior convergência de flutuadores e a sua evolução temporal [Peliz et al 2007]. As regiões encontram-se identificadas na seguinte figura. Face as regiões delimitadas pelas subdivisões da grelha, o lançamento dos flutuadores ocorre na região *OC2* condicionando a dimensão das restantes subdivisões, já que pretendia-se de que todos os flutuadores fosse lançados na mesma região. As regiões *OC1*, *OC2* e *OC3*, dizem respeito às regiões limitadas a Este pela costa, as regiões *O1*, *O2* e *O3*, encontram-se limitadas a Este pelas regiões anteriormente mencionadas e representam uma região de meio termo entre as região mais o largo e as regiões costeiras.

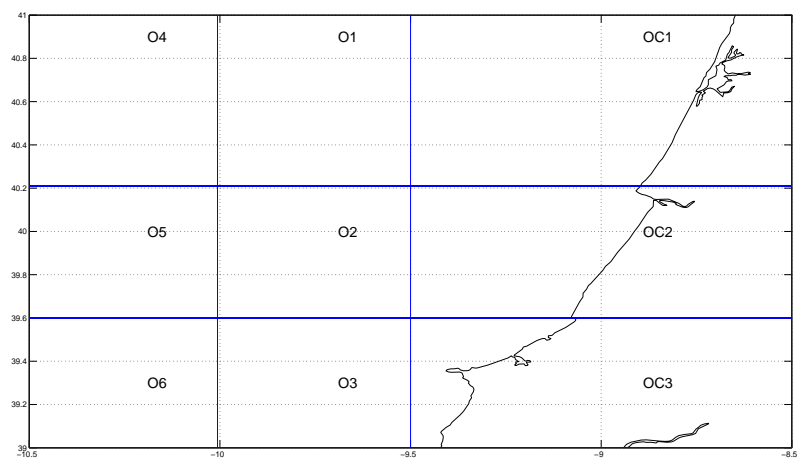


Figura 2.5: Sub-Aéreas

Capítulo 3

Resultados

Uma vez configurado o modelo numérico com as condições iniciais, forçamentos atmosféricos e modelação dos flutuadores lagrangeanos efectuou-se a simulação para o período compreendido entre o dia 10 de Janeiro e 11 de Abril de 2001, já que este período se revelou extremo no que à circulação oceânica diz respeito nos sentidos Norte-Sul ao longo da costa. Uma vez que uma análise para todo o período simulado seria demorado, dada a quantidade de fenómenos que ocorrem e sua complexidade, procurou-se descrever dois períodos centrados nos dias 18 de Fevereiro, com um episódio de ventos de norte, e o dia 6 de Março, caracterizado por um episódio de ventos fortes de sul. Estes dois períodos estudados, face ao regime de vento observado são representativos da dinâmica da região e serão individualmente abordados neste capítulo. Na *Figura 3.1* encontra-se indicado a localização dos cortes verticais apresentados neste capítulo.

3.1 Episódio de 18 de Fevereiro de 2001

Este episódio é caracterizado por um vento de 14,5 m/s proveniente do quadrante nordeste dando origem a um afloramento que será discutido nesta secção do trabalho. Nas seguintes figuras encontram-se representados os campos da temperatura (*figura 3.2*), salinidade (*figura 3.3*) e perfis verticais da corrente zonal (u) (*figura 3.4*) e meridional (v) (*figura 3.5*) para o dia 18 de Fevereiro 12z UTC à superfície. Face ao enquadramento meteorológico da região no período de simulação, verifica-se que a predominância dos ventos de nordeste e face ao aumento de caudal observado na barragem de Crestuma-Lever conclui-se de que o arrefecimento das águas superficiais do oceano (*figura 3.2*) se deve à presença de água mais fria proveniente do rio douro visível a norte do domínio.

Esta afirmação é também confirmada com base na observação do campo da salinidade (*figura 3.3*) já que o arrefecimento presente na região junto à costa é coincidente com a presença de água menos salina (água doce) para a mesma região. Estes gradientes térmicos e salinos não influenciam no entanto as correntes à superfície de forma significativa na região da secção vertical. Na realidade o campo das correntes para a secção apresentada e para o instante estudado não é afectado de forma significativa pela presença de água

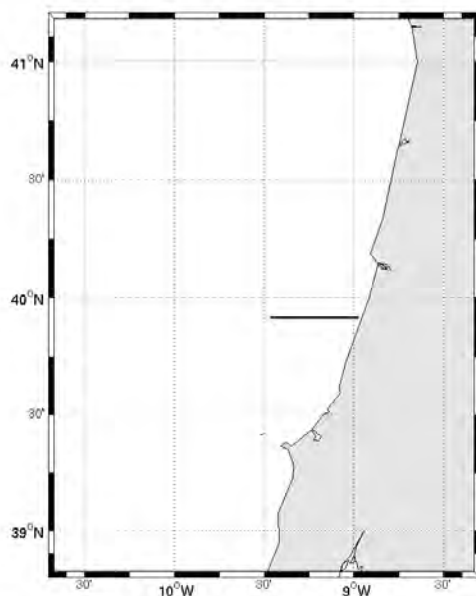


Figura 3.1: Secção Vertical estudada

doce proveniente do rio douro. A temperatura mais elevada está acompanhada por uma salinidade maior, como seria de esperar dado que esta água tem origem subtropical, e faz parte da dinâmica associada à IPC¹ Refira-se também que a temperatura elevada (aproximadamente 14°C) faz parte do sistema IPC, que se manifesta na forma de uma língua de água mais quente que se propaga em direcção a norte pelo bordo da plataforma continental, rodeada por água mais fria ao largo ou na plataforma continental fruto da influência das águas frias e pouco salinas do rio douro.

¹Iberian Poleward Current

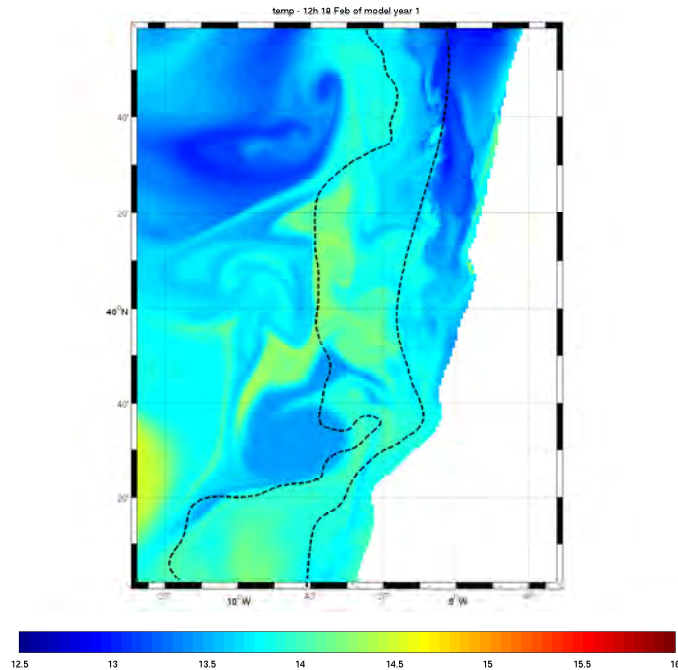


Figura 3.2: Temperatura à superfície do oceano 12z 18/02/2001 [°C]

Como se pode verificar pelo regime de correntes v (*figura 3.4*), as correntes à superfície têm sinal negativo (direcção a sul), acompanhando a tendência do vento observada para a mesma altura. Pode-se verificar também de que este escoamento em direcção a sul ocorre com maior significância nas regiões mais costeiras, chegando a inverter o sentido do escoamento para as regiões da secção mais afastadas da costa, que apresenta um escoamento para norte associado à IPC

Se analisarmos o regime de correntes zonais (*figura 3.5*) verifica-se que de que o perfil de correntes à superfície é para fora da costa. Esta situação está em concordância com o facto de o vento ser proveniente dos quadrantes de nordeste e que juntamente com o escoamento para sul reforçam a existência de um episódio de afloramento. O perfil vertical das correntes zonais mostra também que a meia água existe um escoamento para a costa, e que é designado pela corrente de retorno que vai levar a água para a costa e alimentar a circulação para a superfície. Esta corrente pela figura é máxima na região junto ao fundo. Este evento representa a dinâmica típico de afloramento de inverno, em que se dá a ocorrência de um jacto para sul na plataforma continental que costuma existir com a presença da corrente para o pólo nas regiões da vertente, tal como estudado por Peliz et al 2003. Esta é a dinâmica típica de um processo de afloramento costeiro, e que se ajusta ao modelo de Janowitz e Pietrafesa (1985). em que a corrente de retorno se reproduz primeiro pela camada interior, e com o passar do tempo à camada de Ekman de fundo. O desenvolvimento do afloramento também coincide com os resultados apresentados por Allen e Newberger (1995) para o afloramento bidimensional.

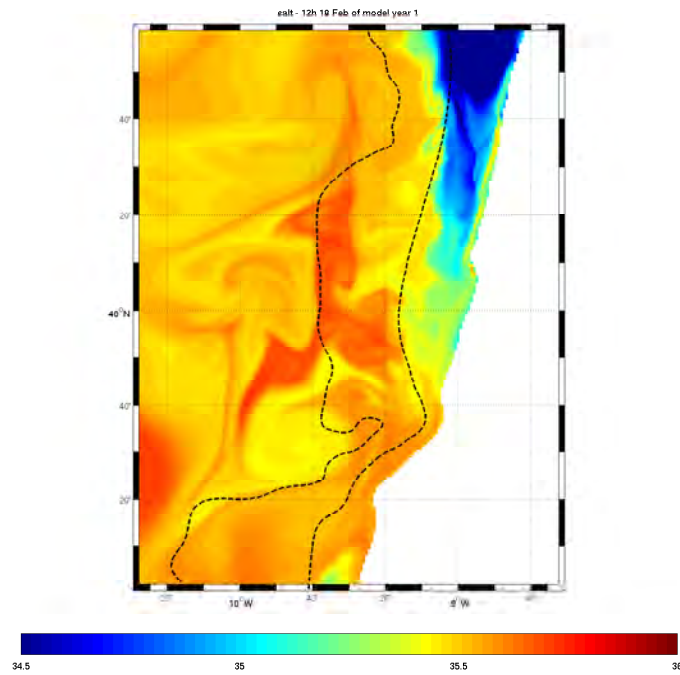


Figura 3.3: Salinidade à superfície do oceano 12z 18/02/2001 Entre-os-Rios

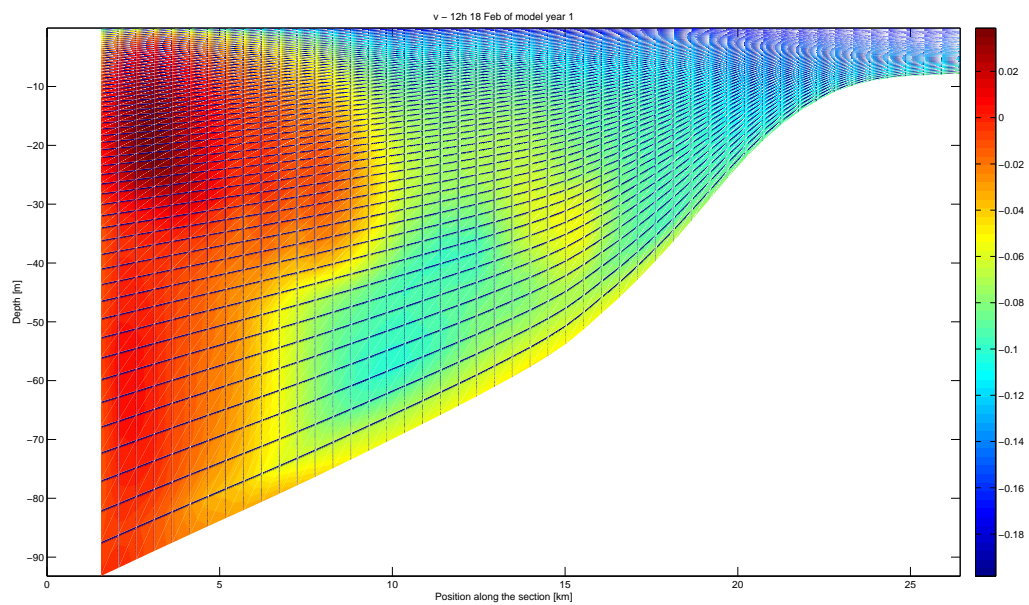


Figura 3.4: Perfil vertical da corrente meridional 12z 18/02/2001 [m/s]

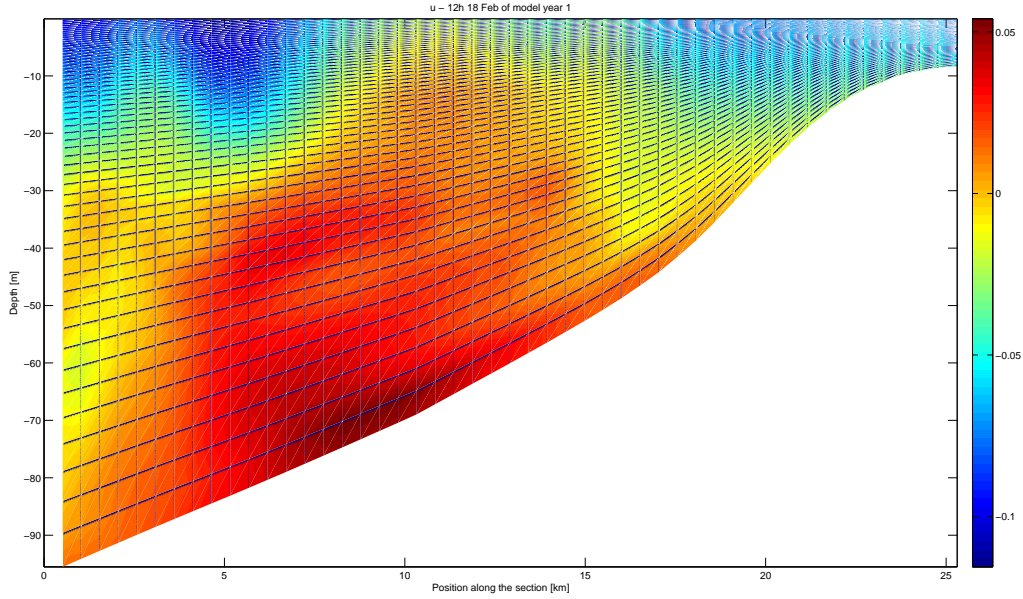


Figura 3.5: Perfil vertical da corrente zonal 12z 18/02/2001 [m/s]

3.2 Episódio de 6 de Março de 2001

Analisando o dia 6 de Março, altura pela qual o vento meridional obteve a sua intensidade máxima, pode-se verificar nas figuras seguintes os campos da temperatura (*figura 3.6*), salinidade (*figura 3.7*), correntes zonais (u) (*figura 3.8*) e correntes meridionais (v) (*figura 3.8*) respectivamente.

Face ao enquadramento meteorológico (ver *figura 2.2*), verifica-se no campo da temperatura um arrefecimento visível nas regiões a norte da malha. Verifica-se o que apresenta ser água quente da IPC que circula para norte com temperaturas a rondar os 14°C . Nesta altura o vento forte de sul que se fez sentir, permitiu que águas mais quentes se propagassem para norte pelo efeito das correntes forçadas pelo vento, levando a água do douro para norte.

No entanto a partir do início do mês de Março, o vento mudou de direcção e face ao posicionamento de uma baixa pressão em aproximação da península Ibérica por volta desta altura, provocou o vento mais intenso observado ao longo desta simulação. O vento no dia 6 de Março atingiu os 26 m/s proveniente dos quadrantes de sul e que começa a partir desta data, a transportar toda esta massa de água doce em direcção a norte, trazendo água mais quente e salina à região em estudo, proveniente das regiões mais a sul, e dando lugar a um reforço da corrente IPC. O campo da salinidade é apresentado na *figura 3.7*.

Nesta figura é possível observar a presença de água menos salina nas regiões mais a norte da malha. Este facto deve-se à presença de água doce proveniente do rio douro (que se encontra fora do domínio estudado, mas introduzido neste através das fronteiras

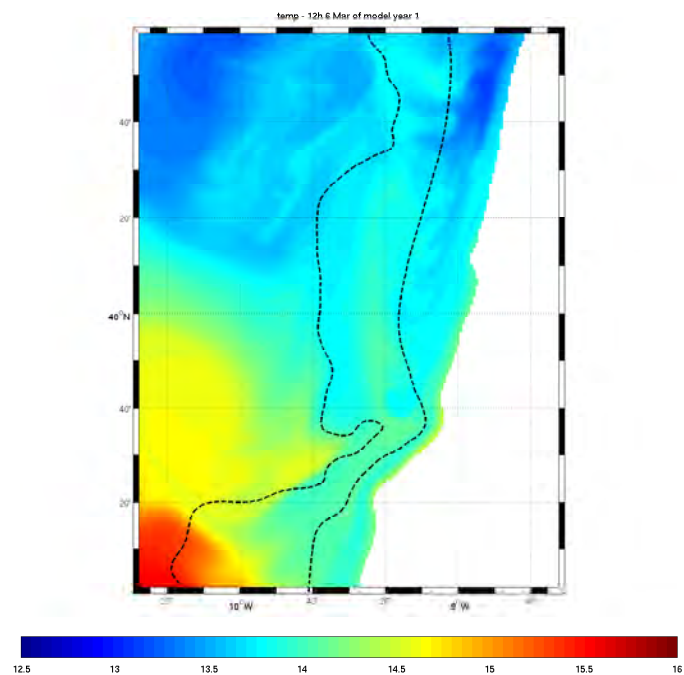


Figura 3.6: Temperatura à superfície do oceano 12z 06/03/2001 [°C]

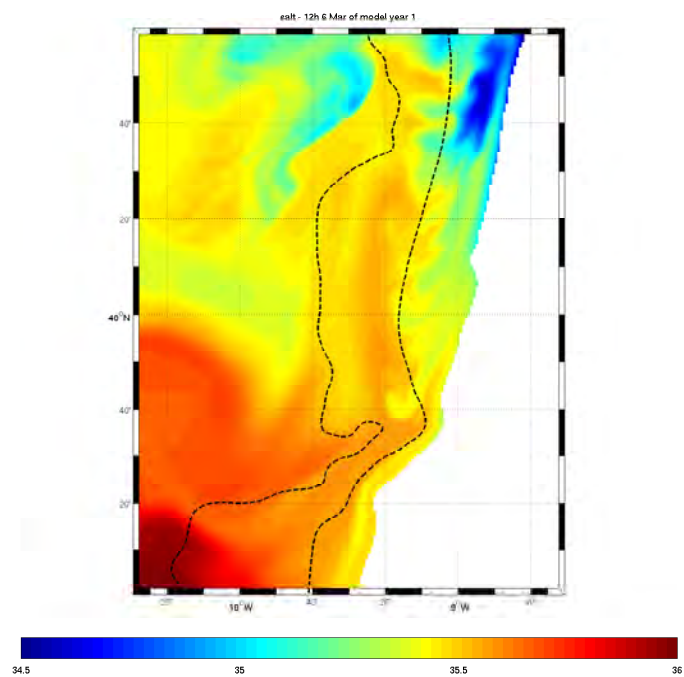


Figura 3.7: Salinidade à superfície do oceano 12z 06/03/2001 [°C]

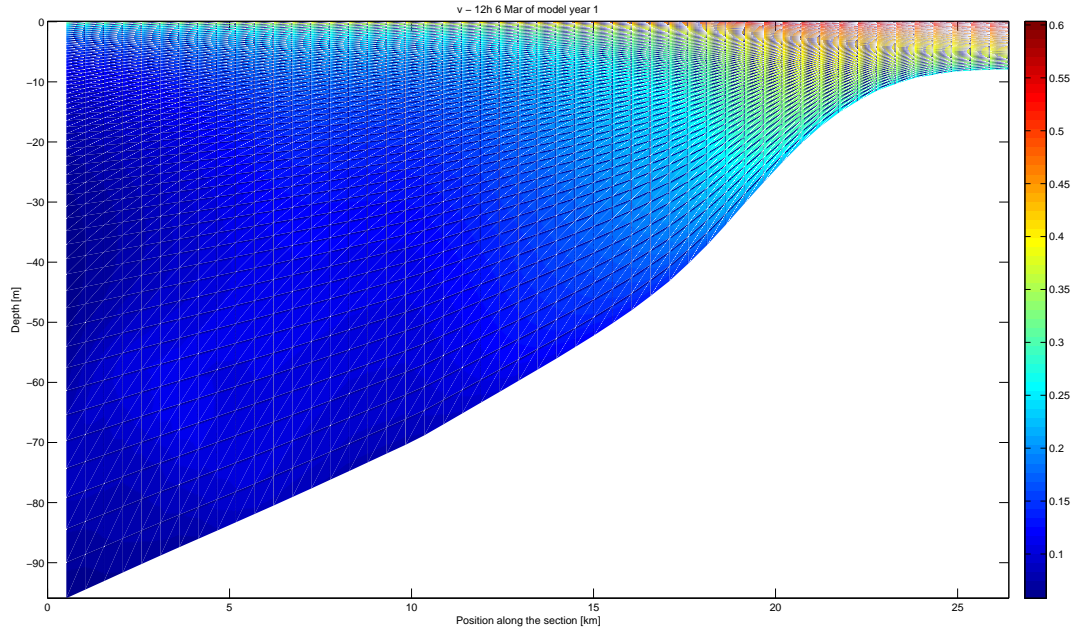


Figura 3.8: Perfil vertical da corrente meridional 12z 06/03/2001 [m/s]

alimentado pelo domínio LD). Este nível de salinidade diz respeito à pluma do Douro que nesta situação foi comprimida contra a costa por efeito do vento de sul que provoca uma forte convergência contra a costa e dá lugar a este comportamento. A presença de água mais quente e salina após esta ocorrência de vento forte, viria a ser mais intensificada dando origem ao afundamento de águas superficiais nas regiões mais costeiras. Neste caso o vento ao ser proveniente de sul vai provocar um escoamento para norte e para a costa devido à força de coriolis, situação verificada em ambas as *figuras 3.8 e 3.9*. Analisando a figura referente às correntes meridionais (*figura 3.8*), verifica-se valores de correntes elevados nas regiões mais costeiras, com valores a atingirem os 0.55 m/s. Com base na figura das correntes meridionais, verifica-se de que as regiões superficiais e mais costeiras são aquelas onde a velocidade é mais elevada com as velocidades à meia água e no fundo bastante mais reduzidas. Na *figura 3.9* pode-se visualizar as correntes superficiais intensas em direcção à costa. É de esperar que com a evolução do vento as correntes zonais no fundo sejam negativas indicando um escoamento para o largo dando origem a uma circulação de água para a costa à superfície, subsidência de água superficial para as regiões mais fundas e consequentemente transporte para o largo nas regiões junto ao fundo. Esta circulação dá-se pelo nome de circulação de Ekman e ocorre igualmente para os casos de afloramento, no entanto ocorre neste caso em sentido inverso ao descrito.

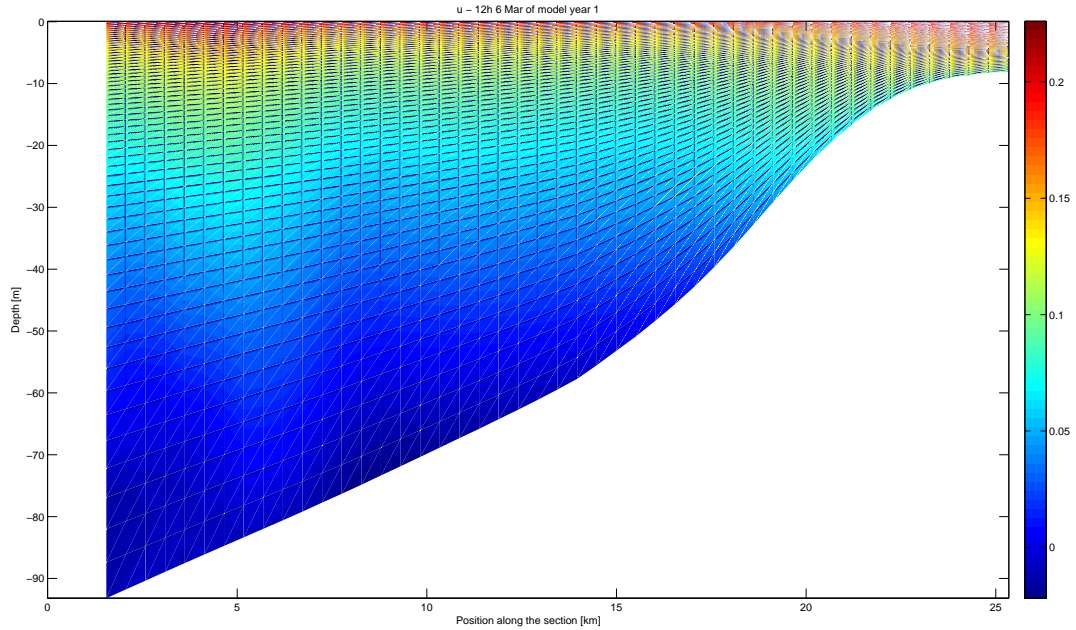


Figura 3.9: Perfil vertical da corrente zonal 12z 06/03/2001 [m/s]

3.3 Estudo Lagrangeano dos Flutuadores

O estudo do movimento dos flutuadores foi efectuado em toda a região da grelha para o período de simulação já evidenciado. A simulação dos flutuadores foi configurada por forma a modelar o comportamento dos flutuadores para três diferentes níveis de profundidade nomeadamente à superfície, meia água e junto ao fundo. Considerando a área da região da zona piloto, o ponto de lançamento dos flutuadores coincidiram com os 4 vértices da zona piloto. Este facto deve-se ainda ao desconhecimento da região da zona piloto em que o dispositivo para a extracção de energia das ondas deverá ser colocado e desta forma se ter uma melhor percepção se poderá ocorrer diferenças significativas nas trajectórias dos flutuadores para diferentes pontos da zona piloto. Na *figura 3.10* encontra-se representado o instante inicial da simulação dos flutuadores.

Na *figura 3.11* encontram-se representados a totalidade de flutuadores presentes na região em estudo pela altura do fim da simulação. Os flutuadores foram largados dos pontos de lançamento com um δt de uma hora para três níveis de profundidade, totalizando 12 flutuadores por hora, 288 flutuadores por dia e 12096 ao longo da simulação. É necessário reter de que o comportamento dos flutuadores se podem encontrar enviesados do regime de ventos, já que os flutuadores não reagem de imediato aos regimes de vento. O seu comportamento num dado instante é fortemente condicionado pelo vento nos dias prévios.

Verifica-se que grande parte dos flutuadores no fim da simulação estão concentrados nas regiões mais a sul da área em estudo nomeadamente os flutuadores referentes à meia

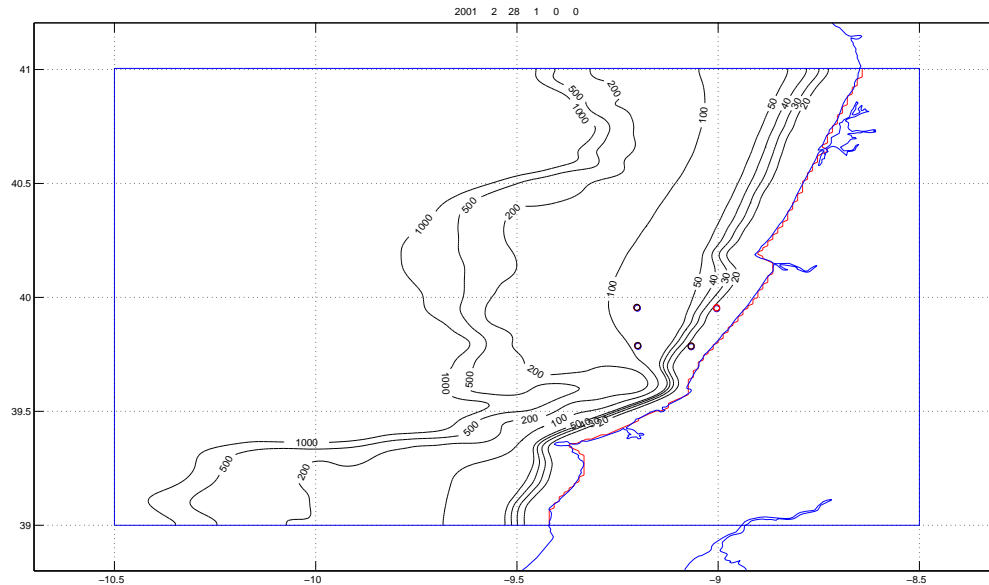


Figura 3.10: Localização dos pontos em que os flutuadores foram lançados e a batimetria da região. As linhas batimétricas apresentadas correspondem às profundidades de 20, 30, 40, 50, 100, 200, 500 e 1000 metros.

água e fundo, com os flutuadores à superfície a encontra-se nas regiões mais ao largo da costa. Este facto deve-se à ocorrência de ventos provenientes do quadrante nordeste durante aproximadamente 5 dias pela altura do término da simulação e que contribui para que os flutuadores à superfície sejam transportados para o largo. Após este período com o vento proveniente de nordeste, em superfície é a dinâmica de Ekman sobreposta à geostrofia do jacto que vai deflectir a trajectória dos flutuadores para o largo. No caso dos flutuadores presentes no fundo são afectados pela dinâmica da camada de Ekman de fundo e à meia água vêm o seu movimento influenciado pela corrente de jacto para sul. No cabo carvoeiro produz-se frequentemente a separação do jacto de afloramento dando lugar a um jacto na direcção sudoeste (Oliveira et al 2009).

Na *Figura 3.12* encontra-se representada a evolução dos flutuadores pelas sub-regiões definidas na *figura 2.5* para os diferentes níveis de profundidade. Face à delimitação das regiões, os flutuadores são lançados inicialmente na região C2. Ao longo da simulação dos flutuadores com início no dia 28 de Fevereiro até 11 de Abril, a sua evolução é apresentada em horas de simulação. Observando o gráfico da *figura 3.12* verifica-se que os flutuadores possuem diferentes dinâmicas consoante a sua profundidade. Verifica-se que os flutuadores à superfície apresentam uma maior dispersão dos que os flutuadores presentes nos restantes níveis. Face ao regime de ventos no início da simulação provenientes de sudoeste, verifica-se de que ao fim de 60 horas de serem lançados, os flutuadores à superfície deslocam-se em primeiro lugar para norte para a região C1. Os flutuadores referentes ao fundo e meia água

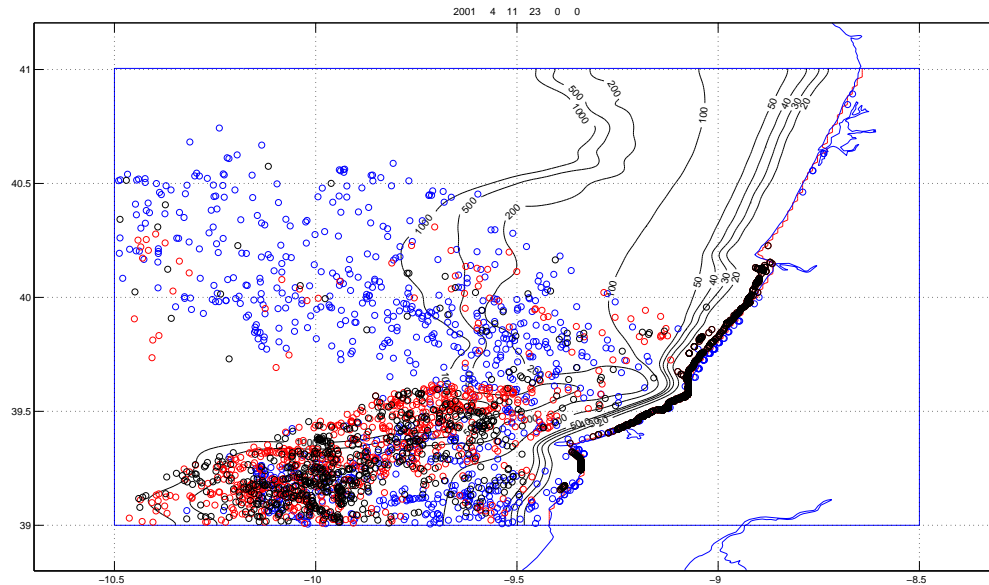


Figura 3.11: Totalidade dos flutuadores presentes na área em estudo entre 28 de Fevereiro a 11 de Abril de 2001. Os flutuadores azuis correspondem aos lançados à superfície, vermelhos a meia água e preto aos do fundo

entram na secção C3 ao contrário do que acontece com os flutuadores à superfície. Ao fim de 100 horas de simulação os flutuadores da meia água e do fundo entram na área C1 e permanecem nesta área até praticamente até ao fim da simulação variando no entanto a na quantidade de flutuadores presentes. Por volta do dia 6 de Março, altura em que o vento é máximo e proveniente de sudoeste os flutuadores à superfície marcam presença significativa na região C1 atingindo 80% da totalidade dos flutuadores. Após 220 horas de simulação (por volta do dia 10 de Março) verifica-se já presença dos flutuadores da meia águas e do fundo na região O2 fruto da corrente para o largo que se forma à meia água e junto ao fundo fruto da subsidência de água da superfície junto à costa provocado pelo vento de sul. Esta corrente para o largo surge pelo facto de por existir subsidência de água na superfície e sendo o fundo uma fronteira fechada, a água é forçada a se deslocar para o largo. A presença de flutuadores na região O3 ocorre sensivelmente para a mesma altura que na região O2. No entanto para esta região a maior presença de flutuadores é referente aos do fundo. e com um aumento significativo de flutuadores de superfície ao fim de 700 horas do início da simulação dos flutuadores (30 de Março).fruto do vento proveniente dos quadrantes de norte (noroeste). Na região O1 a presença de flutuadores é maioritariamente referentes aos superfície a partir das 850 horas de simulação (3 de Abril). Nas regiões mais ao largo, O4, O5 a presença de flutuadores é praticamente residual para o fundo e meia águas. A maior presença de flutuadores nas regiões mais ao largo corresponde à área O6, onde os flutuadores do fundo e meia água surgem ao fim de aproximadamente 600 horas

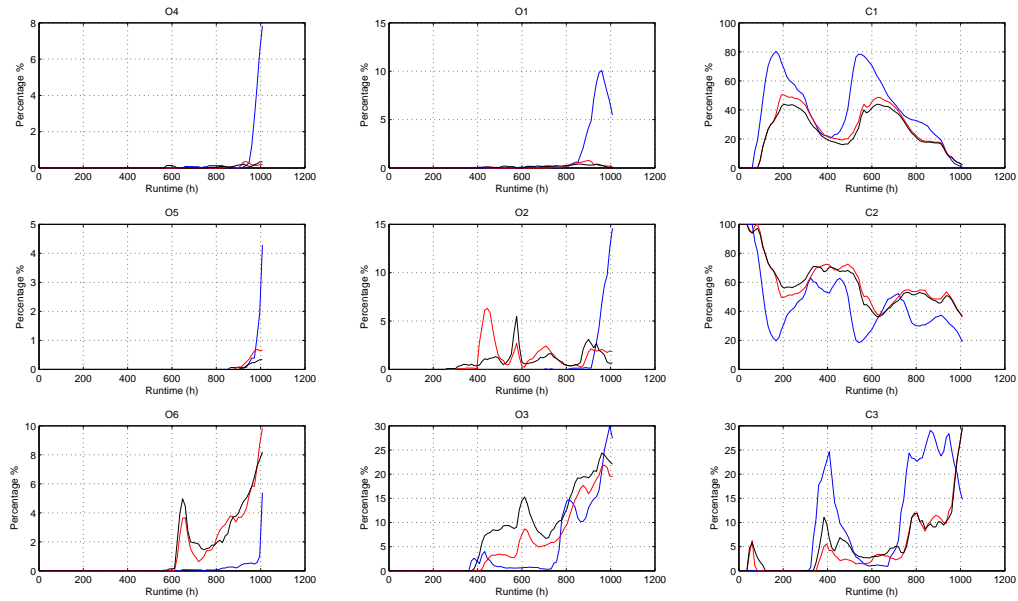


Figura 3.12: Registo Temporal do Vento ao longo da Simulação

(24 de Março) e para a superfície ao fim de 800 horas de simulação (1 de Abril) Verifica-se assim que os flutuadores marcam presença mais significativa nas regiões costeiras e intermédias. Conclui-se que os flutuadores à superfície são os que apresentam uma maior variabilidade no seu movimento já que são os que se encontram mais influenciados pelo vento. Os restantes flutuadores devem o seu movimento para o largo fruto da corrente que surge devido à subsidência de água superficial junto à costa fruto dos episódios de vento intenso que se fez sentir proveniente dos quadrantes de sul. Por este motivo são estes flutuadores a marcar presença nas regiões mais ao largo. Face aos resultados apresentados verifica-se que o movimento dos flutuadores é maioritário meridional do que zonal, muito devido à presença da costa que oferece uma barreira física ao movimento de flutuadores para este.

Capítulo 4

Conclusão

Com este trabalho verificou-se a relação entre o regime de ventos à superfície com o campo temperatura, salinidade e por fim o regime de correntes. Refira-se que para a realização deste trabalho foi necessário a instalação e consequente configuração do modelo numérico *ROMS AGRIF*. Para tal foi necessário a criação dos diversos ficheiros de entrada para o modelo. Entre estes ficheiros podemos encontrar a definição da grelha, forçamento atmosférico e forçamento oceânico. Com o objectivo de efectuar-se a modelação dos flutuadores lagrangeanos foi configurado o modelo numérico para a referida informação fosse incluída no saídas do modelo. Deste modo e para a região espacial e período temporal, foram simulados o lançamento de flutuadores com um espaço temporal de uma hora, a 3 níveis de profundidade diferentes com um intervalo temporal de 1 hora. Com base nos diversos forçamentos a posição dos flutuadores foram evoluindo no tempo. Nesta análise foi possível verificar que o regime de correntes que influenciam a propagação dos flutuadores sofre influencia do escoamento dos rios e também como seria de esperar pela transferência de momento entre o vento à superfície e o oceano. Identificando os regimes de correntes mais significativos para a região em estudo (0.55 m/s no dia 6 de Março), as simulações referentes aos flutuadores tiveram início aproximadamente 15 dias antes por forma a se compreender o comportamento dos flutuadores, já que a influencia do seu movimento dada a inercia do oceano é referente a um período anterior. Com base nas simulações efectuadas verificou-se que IPC (Iberian Poleward Current) assume um papel importante no escoamento para norte. No que às simulações dos flutuadores lagrangeanos diz respeito, verificou-se que os flutuadores da superfície foram os que registaram uma maior dispersão, muito devido às correntes mais elevadas fruto do forçamento atmosférico. A dispersão com maior significância para os flutuadores de superfície diz respeito à orientação N-S fruto da predominância dos ventos nestas direcções e na orientação E-O pela dinâmica de Ekman à superfície, trazendo os flutuadores para a costa perante ventos do quadrante sul e para o largo na ocorrência de ventos de norte. Para os flutuadores à meia água, verificou-se que a sua dinâmica é influenciada pela corrente de retorno (não geostrófico) e pelo jacto (geostrófico) induzido pelos afloramentos. Já para o fundo, verificou-se que a dinâmica de Ekman é responsável pelo transporte das flutuadores na direcção este-oeste. Verificou-se que a forma da costa influencia o regime de correntes, com particular importância para o

cabo carvoeiro, região onde se produz frequentemente a separação do jacto de afloramento, dando lugar a um jacto na direcção de sudoeste (Oliveira et al 2009). Este facto vem explicar a maior presença de flutuadores na região O6 do que nas restantes regiões.

Referências

- [1] **Introduction to Geophysical Fluid Dynamics**
- [2] **A Peliz et al** "A study of crab larvae dispersal on the Western Iberian Shelf: Physical processes"**Journal of Marine Systems, 2007 - Elsevier**
- [3] <http://roms.mpl.ird.fr/doc/index.html>
- [4] <http://roms.mpl.ird.fr/>
- [5] <http://www.wetterzentrale.de/>
- [6] **Marchesiello P., McWilliams J., Shchepetkin A.** "Open boundary conditions for long-term integration of regional oceanic models"**Ocean Modelling ,3, 2001, 1-20**
- [7] **Relvas P, Barton E.D, Dubert J, Oliveira P., Peliz A., Silva J.C.B, Santos A. et al 2007** "Physical Oceanography of the western Iberia ecosystem"**Progress in Oceanography, 74, 2007, 149-173**
- [8] **Csanady G.T., Shaw P., 1983** "Self-Advection of Density Perturbations on a Sloping Continental Shelf"**Jounal of Physical Oceanography 1983**
- [9] **Isemer e Hasse, 1987** "The Bunker climate atlas of the North Atlantic Ocean. Volume II: Air-sea interactions"
- [10] **Shchepetkin A., McWilliams J., 2005** "The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model "**Ocean Modelling 9, 2005, 347-404**